

焦点ぼけを利用した中間視点画像生成の一検討

View Interpolation Filters using Multiview Defocused Images

浅野 哲也†
Tetsuya Asano久保田 彰‡
Akira Kubota羽鳥 好律†
Yoshinori Hatori

1. まえがき

多視点から撮像された画像群(多視点画像群)を用いて、任意の視点における仮想的な画像(任意視点画像)を生成する手法について研究が近年なされている[1]。任意視点画像の生成手法として、多視点画像群の再サンプリングに基づいたイメージ・ベースド・レンダリング(IBR)法がある。IBR法は対象シーンの3次元構造を推定する必要がなく、高品質な任意視点画像が生成できるが、高密度に撮影された多視点画像群を必要とするという問題がある。

この問題を解決するために、撮影した多視点画像群を密な間隔の画像に補間する手法が提案されてきた。その手法の多くはシーンの奥行き推定に基づいている。奥行き推定を行わない手法として、久保田らの研究がある[2]。これは2層の奥行きに対して2視点から中間視点を内挿する場合に、左右の視点から近景・遠景合焦画像4回の撮影するものであった。これに対して、濱中らは同じ2層のシーンに対し、それぞれの奥行きに合焦させた左右の視点の2枚の画像から全焦点中間視点画像を内挿する手法を提案した[3]。

本稿では、濱中らの手法を多層のシーンに拡張する方法を提案する。ここでは、3層のシーンに対しそれぞれの奥行きに合焦した3視点画像を用いて中間視点画像を全焦点で生成するフィルタの導出を行い、その周波数特性を論じる。

2. 中間視点画像生成のアルゴリズム

2.1 問題設定

図1にシーンとカメラ配置を示す。ワールド座標 Z_1, Z_2, Z_3 の3層の奥行きからなるシーンを対象とする。 $Z=0$ の平面上に三角形上に配置された3台のカメラでシーンを撮像する。視線方向はすべてZ方向であるとする。

上方カメラ $C_1(X_1, X_2)$ から近景の奥行き Z_1 に合焦させた撮影した画像を g_1 、左下方カメラ $C_2(X_2, X_2)$ から中間の奥行き Z_2 に合焦させて撮影した画像を g_2 、右下方カメラ $C_3(X_3, X_3)$ から遠景の奥行き Z_3 に合焦させて撮影した画像を g_3 とする。

目的はこれらの3つの視点から3つの異なる奥行きに合焦した画像群(g_1, g_2, g_3)から、ワールド座標原点からの全焦点の仮想視点画像 f を生成することである。

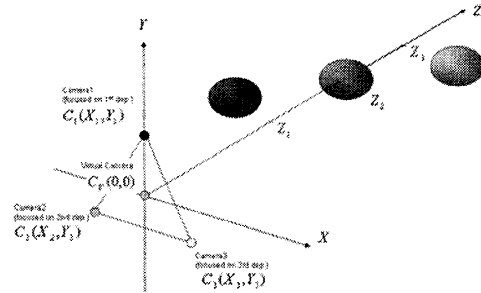


図1. シーンとカメラ配置

2.2 画像モデル

中間視点画像 f は、同じ視点から見る事ができる異なる奥行き Z_1, Z_2, Z_3 のテクスチャから構成されている。それぞれのテクスチャを f_1, f_2, f_3 とすると、 f はそれらの和

$$f(x, y) = f_1(x, y) + f_2(x, y) + f_3(x, y) \dots (1)$$

として、モデル化できる。 (x, y) は画像内の座標を表す。テクスチャ f_1, f_2, f_3 は近景、中景、遠景を領域分割した画像となり未知である。

3枚の撮影画像群 g_1, g_2, g_3 は(1)式で定義したテクスチャを用いて近似的にモデル化できる。例えば、 g_1 は上方の視点から近景に焦点を合わせた画像であるから、中間視点におけるすべてのテクスチャを下方に移動させた後、合焦していないテクスチャに奥行き量に応じた焦点ぼけを与えた画像としてモデル化する。

奥行き Z_n ($n=1, 2, 3$)のテクスチャに対する、中間視点画像とカメラ C_m ($m=1, 2, 3$)の撮影画像の視差は x 方向、 y 方向それぞれ

$$d_{mx} = \frac{X_m}{Z_n} f_d, \quad d_{my} = \frac{Y_m}{Z_n} f_d \quad (m, n=1, 2, 3) \dots (2)$$

と表せる。 f_d はカメラの焦点距離である。

撮影画像 g_1, g_2, g_3 は以下ようになる。

$$\begin{cases} g_1(x, y) = f_1(x + d_{11x}, y + d_{11y}) \\ + h_{12}(x, y) * f_2(x + d_{12x}, y + d_{12y}) \\ + h_{13}(x, y) * f_3(x + d_{13x}, y + d_{13y}) \\ g_2(x, y) = h_{21}(x, y) * f_1(x + d_{21x}, y + d_{21y}) \\ + f_2(x + d_{22x}, y + d_{22y}) \dots (3) \\ + h_{23}(x, y) * f_3(x + d_{23x}, y + d_{23y}) \\ g_3(x, y) = h_{31}(x, y) * f_1(x + d_{31x}, y + d_{31y}) \\ + h_{32}(x, y) * f_2(x + d_{32x}, y + d_{32y}) \\ + f_3(x + d_{33x}, y + d_{33y}) \end{cases}$$

焦点ぼけは、ぼけ関数 h_{mn} ($m, n=1, 2, 3$)のたたみ込みで表現される。ぼけ関数 h_{mn} は、奥行き Z_n にあるテクスチャを奥

†東京工業大学 大学院総合理工学研究科
物理情報システム専攻

‡中央大学 理工学部 電気電子情報通信工学科

行き Z_m に合焦させて撮影したときに発生するぼけであり、以下のガウス関数であると仮定する。

$$h_{mn}(x, y) = \frac{1}{\pi R_{mn}^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{R_{mn}^2}\right) \quad (m, n = 1, 2, 3) \dots (4)$$

$R_{mn} (m, n = 1, 2, 3)$ はぼけの程度を表す量である。

2.3 空間不変フィルタ

(1)式、(3)式および(4)式から x と y に関しての2次元フーリエ変換すると、それぞれの次式モデルを得る。

$$F(\omega_x, \omega_y) = F_1(\omega_x, \omega_y) + F_2(\omega_x, \omega_y) + F_3(\omega_x, \omega_y) \dots (5)$$

$$\begin{cases} G_1(x, y) = S_{11}(\omega_x, \omega_y)F_1(\omega_x, \omega_y) \\ + H_{12}(\omega_x, \omega_y)S_{12}(\omega_x, \omega_y)F_2(\omega_x, \omega_y) \\ + H_{13}(\omega_x, \omega_y)S_{13}(\omega_x, \omega_y)F_3(\omega_x, \omega_y) \\ G_2(x, y) = H_{21}(\omega_x, \omega_y)S_{21}(\omega_x, \omega_y)F_1(\omega_x, \omega_y) \\ + S_{22}(\omega_x, \omega_y)F_2(\omega_x, \omega_y) \\ + H_{23}(\omega_x, \omega_y)S_{23}(\omega_x, \omega_y)F_3(\omega_x, \omega_y) \\ G_3(x, y) = H_{31}(\omega_x, \omega_y)S_{31}(\omega_x, \omega_y)F_1(\omega_x, \omega_y) \\ + H_{32}(\omega_x, \omega_y)S_{32}(\omega_x, \omega_y)F_2(\omega_x, \omega_y) \\ + S_{33}(\omega_x, \omega_y)F_3(\omega_x, \omega_y) \end{cases} \dots (6)$$

$$H_{ij}(\omega_x, \omega_y) = \exp\left(-\frac{R_{ij}^2}{4}(\omega_x^2 + \omega_y^2)\right) \quad (m, n = 1, 2, 3) \dots (7)$$

ここで、 (ω_x, ω_y) は (x, y) に対する角周波数である。 $S_{mn} (m, n = 1, 2, 3)$ は奥行き Z_n のテクスチャに対する、中間視点画像とカメラ C_m の撮影画像の視差を表す成分である。 S_{mn} は以下のとおりである。

$$S_{mn}(\omega_x, \omega_y) = \exp\{j(d_{mnx}\omega_x + d_{mny}\omega_y)\} \quad (m, n = 1, 2, 3) \dots (8)$$

式(6)は F_1, F_2, F_3 の連立方程式となっている。(6)式より F_1, F_2, F_3 についてそれぞれ解いて、(5)式に代入し、整理すると次式を得る。

$$F(\omega_x, \omega_y) = K_1(\omega_x, \omega_y)G_1(\omega_x, \omega_y) + K_2(\omega_x, \omega_y)G_2(\omega_x, \omega_y) + K_3(\omega_x, \omega_y)G_3(\omega_x, \omega_y) \dots (9)$$

K_1, K_2, K_3 は、周波数領域において各撮影画像に施すべきフィルタである。図2に(9)式に基づいた提案手法の流れを示す。周波数領域における3枚の撮影画像群 G_1, G_2, G_3 に対して、 K_1, K_2, K_3 によるフィルタリングを行った結果を加算することによって、周波数領域における中間視点画像 F を生成できることを示している。

フィルタ K_1, K_2, K_3 は焦点ぼけ H_{mn} と視差 S_{mn} の成分を含んだ式となり、例えば K_1 は以下のようになる。

$$K_1 = \left(\begin{array}{l} S_{22}S_{33} - H_{21}S_{21}S_{33} - H_{32}H_{23}S_{32}S_{23} \\ + H_{31}H_{23}S_{31}S_{23} + H_{21}H_{32}S_{21}S_{32} - H_{31}S_{31}S_{22} \end{array} \right) \div \left\{ \begin{array}{l} S_{11}(S_{22}S_{33} - H_{32}H_{23}S_{32}S_{23}) \\ + H_{12}S_{12}(H_{31}H_{23}S_{31}S_{23} - H_{21}S_{21}S_{33}) \\ + H_{13}S_{13}(H_{21}H_{32}S_{21}S_{32} - H_{31}S_{31}S_{22}) \end{array} \right\} \dots (10)$$

残りの K_2, K_3 も同様に焦点ぼけ関数と視差だけで決定される。従って、提案手法も奥行き画像の推定や領域分割を行う必要はなく、どの領域がどの奥行きに相当するかといった情報に依存しない。

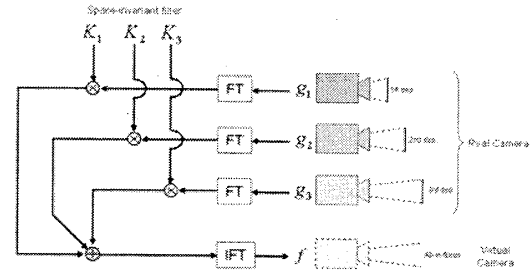


図2 提案手法の流れ

2.4 フィルタの周波数特性

$Z=0$ の平面上の1辺8[mm]の正三角形の各頂点にカメラがあり、三角形の重心の仮想カメラの画像を生成する場合を考える。3台のカメラで合焦させる奥行きは $Z_1=1000$ [mm], $Z_2=1228$ [mm], $Z_3=1600$ [mm] とする。仮想カメラと上方カメラ C_1 の y 方向の視差 $d_{11y}=10.7$ [pixel], $d_{12y}=8.6$ [pixel], $d_{13y}=6.6$ [pixel] であった。このときの K_1, K_2, K_3 の振幅の周波数特性が図3である。

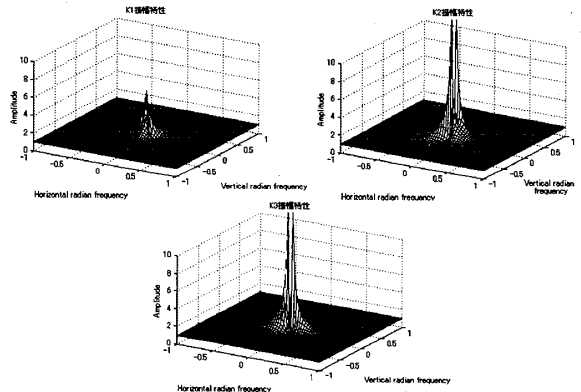


図3. フィルタ K_1, K_2, K_3 の振幅の周波数特性

図3より、低周波の振幅で大きな値となり、発散している可能性がある。濱中らによる2層2視点の場合は、焦点ぼけ成分が低周波で発散はしておらず、安定していた。3層3視点の場合は今後、安定化のための正則化を検討する必要がある。

3. まとめ

焦点ぼけを利用した空間不変フィルタによって、3層の奥行きシーンの中間視点を作り出すアルゴリズムを検討した。導出したフィルタは低周波で振幅が大きくなる問題を解決する必要がある。この問題には、フィルタの視差の成分を周波数に依存させて変化させ、低周波では視差の振幅を小さくする対処が考えられる。今後はカメラの開口径がフィルタの安定性に与える影響を検証したい。

参考文献

- [1] A. Kubota et al. "Multi-View Imaging and 3DTV," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 24, no.6, pp. 10-21, 2007.
- [2] A. Kubota, K. Aizawa, T. Chen, "Reconstructing Dense Light Field From Array of Multifocus Images for Novel View Synthesis," IEEE Trans. on Image Processing, vol.16, no.1, pp. 269-279, 2004.
- [3] 濱中, 久保田, 羽鳥, "焦点の異なるステレオ画像からの中間視点画像の生成", 信学技報, vol. 108, no. 344, IE2008-107, pp. 23-28, 2008.